

# Micromachining of Optical Fiber and Its Application to Sensors and Optical Devices(光 ファイバのマイクロマシニングとセンサ及び光デバ イスへの応用)

著者	熊? 裕教
号	2914
発行年	2002
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/8187">http://hdl.handle.net/10097/8187</a>

氏名	くまざき ひろのり 熊 崎 裕 教
授与学位	博士 (工学)
学位授与年月日	平成 15 年 3 月 24 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 機械電子工学専攻
学位論文題目	Micromachining of optical fiber and its application to sensors and optical devices (光ファイバのマイクロマシニングとセンサ及び光デバイスへの応用)
指導教官	東北大学教授 羽根 一博
論文審査委員	主査 東北大学教授 羽根 一博      東北大学教授 江刺 正喜 東北大学教授 湯上 浩雄

## 論文内容要旨

高密度波長多重システムの普及により、光ファイバネットワークとの結合性がよく、小型で損失の小さい各種光デバイスの実現が期待されている。加えて、光ファイバセンサ分野においても同種の性能向上が期待されている。本論文は、ファイバ型光デバイスの製作を目的として、反応性イオンエッチングによる光ファイバのマイクロ加工法について提案した。光ファイバをマイクロ加工した実例を示すと共に、加工した光ファイバを物理量測定用のセンサ及び光通信用デバイスに応用した。本論文は、この研究成果についてまとめたもので、全編 6 章よりなる。

第 1 章は序論であり、本研究の背景と目的を述べている。

第 2 章では、製作したプラズマエッチング装置の概要と、その特性について述べている。光ファイバの先端部や中間部に高い精度で細径加工や先鋭加工が実現できることを示した。光ファイバに細径加工を行った例を図 1 に、先鋭加工を行った例を図 2 に示す。また、フォトリソグラフィ技術を導入することで、さらに複雑な形状に加工できる可能性を示した。

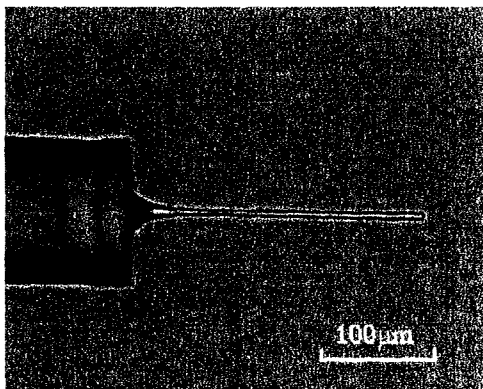


図 1 細径加工された光ファイバ

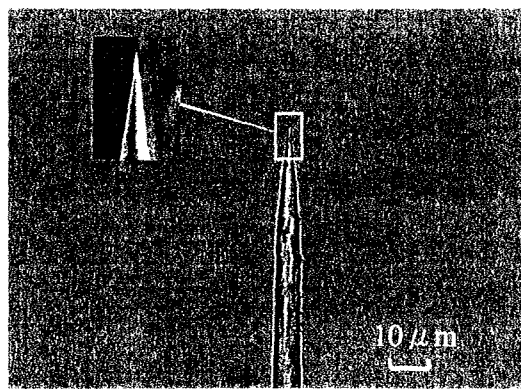


図 2 先鋭加工された光ファイバ

第 3 章では、センサ部と導光部を一体化した光熱振動型ファイバセンサの製作方法、および、製作したセンサを用いて真空度、液体の粘度及び密度、スパッタ装置の堆積膜厚などを測定した結果について記述している。膜厚測定のための光学系の構成を図 3 に示す。励振用の強度変調レーザ光と波長の異なる振動検出用の直流レーザ光をカブラーと光合分波器を用いて、センサ部である石英コア振動子に照射した。振動子からの戻り光の一部を用いて振動検出を行った。5kHz 程度の共振周波数をもつ 4 本の振動子をスパッタ装置内に設置し、各々 Au, Ag, Mo, Cr を成膜させた場合の膜厚に対する共振周波数の変化を図 4 に示す。共振周波数の変化率は膜の密度と強い相関があること、Au の場合、膜厚 500nm まで 0.5nm 程度の精度で膜厚測定が可能であることが示された。光ファイバセンサと振動型センサの長所を併せ持ち、光学系の調整を必要とすることなく、安定な測定を実現した。

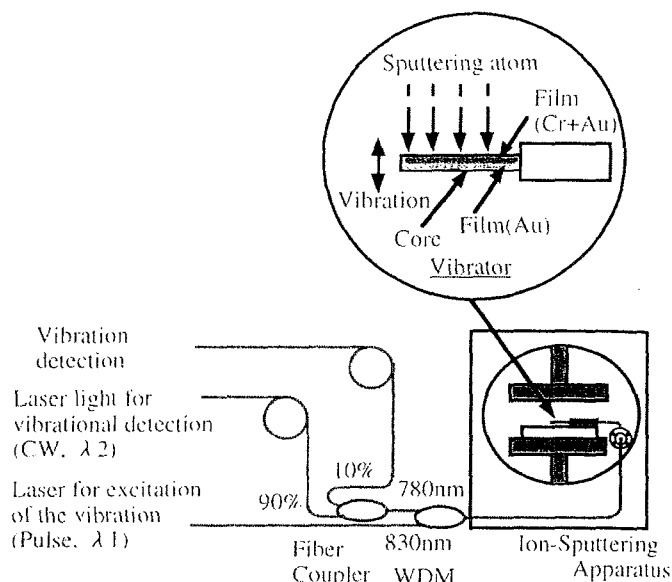


図 3 振動型ファイバセンサによる膜厚測定の光学系構成

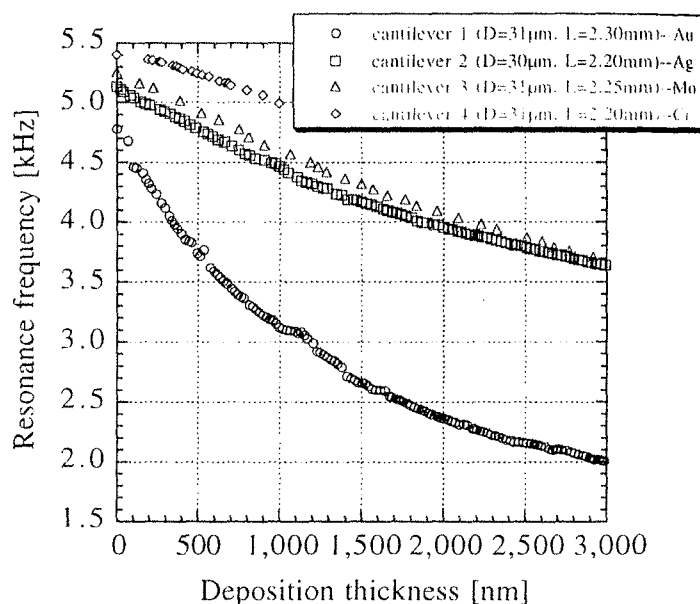


図 4 膜厚に対する共振周波数の変化(Au, Ag, Mo, Cr)

第 4 章では、細径加工したシングルモードグレーティングファイバを可変波長フィルタとして応用した結果について述べている。周囲媒体の屈折率を変化させる方法、グレーティング領域に引っ張り応力を印加する方法を提案し、いずれの場合においても、ファイバを細径化することの有効性が示された。また、グレーティング領域を図 5 に示すような非対称断面となるように加工し、曲げを与えて印加応力を変化させる方法によって、反射波長のシフトを試みた。実験装置の概略を図 6 に示す。グレーティング領域に与える曲げを変化させながら、光サーキュレータと光

スペクトラムアナライザを用いて反射スペクトルを採取した。

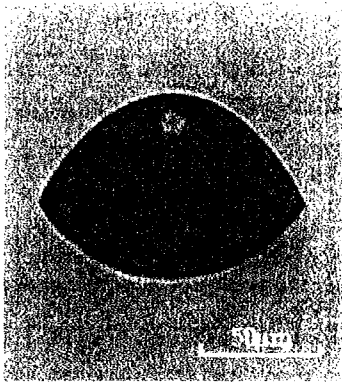


図 5 非対称な光ファイバの断面

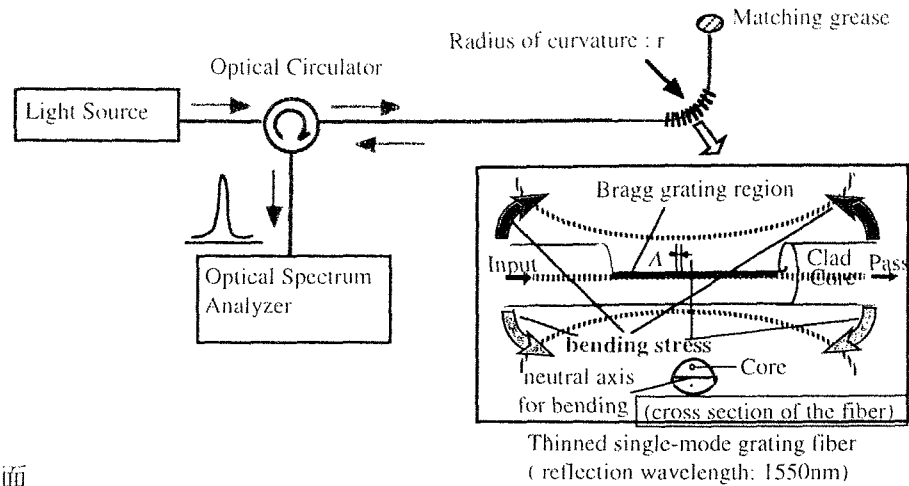


図 6 非対称断面をもつグレーティングファイバによる可変波長フィルタ

曲げ（曲率半径の逆数）に対する反射波長の変化を、図 7 に示す。理論値には及ばないものの、 $\pm 15\text{mm}$  までの曲げにより約  $4\text{nm}$  という比較的大きな反射波長のシフト量が得られた。

第 5 章では、マイクロ加工を施したファイバを可変光減衰器および透過光モニタなどへ応用した結果について述べている。また、光ファイバを複雑な形状に加工するための方法についても記述している。細径加工したシングルモードファイバ（加工長さ  $20\text{ mm}$ 、直径  $22\text{ }\mu\text{m}$ ）の周囲をグリセリンで

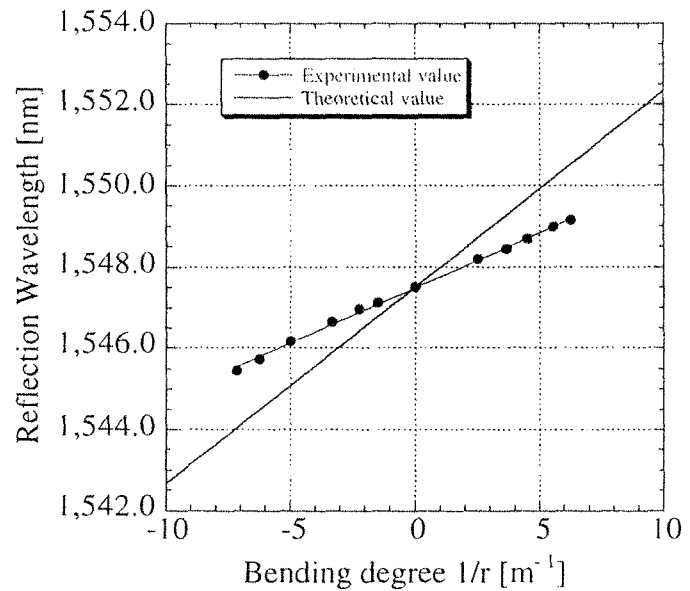


図 7 曲げに対する反射波長の変化

覆い、その温度を制御する方法で透過光量の制御を試みた。 $40^{\circ}\text{C}$  のグリセリン温度変化により、透過光量は  $12\text{dB}$  変化した。また、光ファイバ側面にマイクロ孔を開けることで透過光量モニタを実現した。マイクロ孔（直径  $20\text{ }\mu\text{m}$ 、 $200\text{ }\mu\text{m}$  間隔）を設けた光ファイバを図 8 に示す。マイクロ孔の直径が奥に進むにつれて徐々に小さくなっていることが確認できる。図 9 に示す装置構成で、光ファイバの透過光量に対するマイクロ孔（3 個）からの漏れ光量を測定したところ、波長  $633\text{ nm}$

の場合 1.6 %、波長 780 nm の場合 1.3 %であった。これらのデバイスを組み合わせれば、透過光量のフィードバック制御を簡便に実現できる。

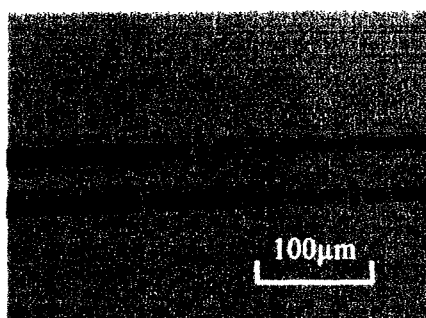


図 8 マイクロ孔を設けた光ファイバ

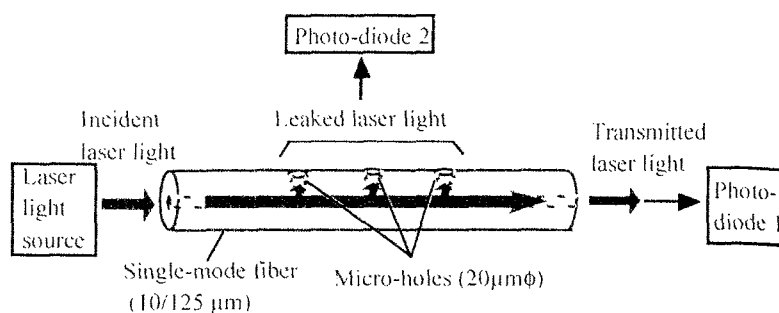


図 9 マイクロ孔による過光量モニタ用実験装置の構成

さらに、細径加工ファイバとフォトクロミック化合物であるジアリルエテンを組み合わせることにより、光-光制御デバイスが実現できる可能性も示した。

第 6 章は結論である。

以上要するに本論文は、反応性イオンエッチングによる光ファイバのマイクロ加工法を提案し、実験等により、その性能及び有用性を明らかにし、光ファイバセンサや光制御デバイスの開発に利用できることを明らかにしたものである。

# 論文審査結果の要旨

高密度波長多重光通信システムの普及により、光ファイバネットワークとの結合性がよく、小型で損失の小さい各種光デバイスの実現が期待されている。加えて、光ファイバセンサ分野においても同種の性能向上が期待されている。本論文は、ファイバ型光デバイスの製作を目的として、反応性イオンエッチングによる光ファイバのマイクロ加工法について提案した。光ファイバをマイクロ加工した実例を示すと共に、加工した光ファイバを物理量測定用の光ファイバセンサ及び光通信用デバイスに応用した。本論文は、これらの成果をまとめたもので、全編6章よりなる。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、製作したプラズマエッチング装置の概要と、その特性について述べている。光ファイバの先端部や中間部に高い精度で細径加工やテーパ加工が実現できることを示した。また、フォトリソグラフィ技術を導入することで、さらに複雑な形状に加工できる可能性を示した。これらは実用上有用な知見である。

第3章では、センサ部と導光部を一体にした光熱振動型ファイバセンサの製作方法、及び、製作したセンサを用いて、真空度、液体の粘度及び密度、スパッタ装置の堆積膜厚などを測定した結果について記述している。光ファイバセンサと振動型センサの長所を併せ持ち、光学系の調整が不要で安定な測定を実現した。これは有用な結果である。

第4章では、細径加工したシングルモードグレーティングファイバを可変波長フィルタとして応用した結果について述べている。周囲媒体の屈折率を変化させる方法、グレーティング領域に引っ張り応力を印加する方法を提案し、いずれの場合においても、ファイバを細径化することの有効性を確認した。また、グレーティング領域の断面が非対称となるようにファイバを加工し、曲げを与えることによって応力を変化させる方法によって、比較的大きな反射波長のシフトを得たことは重要な成果である。

第5章では、マイクロ加工を施したファイバを可変減衰器および透過光モニタなどへ応用した結果について述べている。また、光ファイバを複雑な形状に加工するための方法についても記述している。細径加工したシングルモードファイバを用いることで優れた可変光減衰器の特性が得られた。また光ファイバ側面にマイクロ孔を開けることで透過光量モニタを実現した。これらのデバイスを組み合わせれば、透過光量のフィードバック制御を簡便に実現できる。さらに、細径加工ファイバとフォトクロミック化合物であるジアリルエテンを組み合わせることにより、光・光制御デバイスが実現できる可能性を示した。これらは有用な成果である。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、反応性イオンエッチングによる光ファイバのマイクロ加工法を提案し、実験等により、その性能及び有用性を明らかにし、光ファイバセンサや光制御デバイスの実現に成功したもので、デバイス工学および機械電子工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。